



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ



Διπλωματική Εργασία
Εύελυν Σάκκα

ΕΜΚ ΔΕ 2018 16

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές

Αθήνα, Ιούλιος 2018

Copyright © Εύελυν Σάκκα, 2018
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια της συγγραφέως. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς την συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων της συγγραφέως (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Evelyn Sakka, 2018
All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Εύελυν Σάκκα (2018)

Οικονομοτεχνική διερεύνηση βέλτιστης θέσης χωροθέτησης αιολικού πάρκου
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2018 16
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Evelyn Sakka (2018)

Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2018 16
Technical and Financial Investigation of Optimum Wind Park Siting
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή του τομέα Δομοστατικής κ. Χ. Γαντέ για την επιστημονική καθοδήγηση και τη βοήθεια που μου προσέφερε κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δ. Βαμβάτσικο, επίκουρο καθηγητή του τομέα Δομοστατικής και τον κ. Ν. Λαγαρό, αναπληρωτή καθηγητή του τομέα Δομοστατικής.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2018 16

Οικονομοτεχνική διερεύνηση βέλτιστης χωροθέτησης αιολικού πάρκου

Εύελυν Σάκκα

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές

Ιούλιος 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την οικονομοτεχνική διερεύνηση της βέλτιστης χωροθέτησης για την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου. Το αιολικό δυναμικό μια περιοχής αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την απόδοση της επένδυσης. Η κατασκευή ενός αιολικού πάρκου έχει υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης και για αυτό το λόγο θα πρέπει να κατασκευαστεί σε μια περιοχή με υψηλή ταχύτητα ανέμου ώστε η επένδυση να επιφέρει το μέγιστο κέρδος.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που διαθέτουν. Επίσης, περιγράφεται η αιολική ενέργεια που είναι και η μορφή με την οποία θα ασχοληθούμε καθώς και η διαδικασία κατασκευής ενός αιολικού πάρκου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εξέλιξη των επενδύσεων της αιολικής ενέργειας τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Επιπλέον, αναλύεται ο ρόλος της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα, η διαδικασία δανειοδότησης αιολικών πάρκων και η τιμολόγηση ενέργειας στην Ελλάδα.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τύποι των ανεμογεννητριών και τα μέρη από τα οποία αποτελείται μια ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα. Επίσης, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας General Electric GE 3.2-130 που είναι η ανεμογεννήτρια που θα χρησιμοποιήσουμε στη μελέτη μας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση του αιολικού δυναμικού και της απόδοσης των ανεμογεννητριών. Παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της ταχύτητας ανέμου καθώς παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ενέργειας και είναι ένας παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη για την επιλογή της περιοχής στην οποία θα γίνει εγκατάσταση αιολικού πάρκου. Παρουσιάζεται η κατανομή Weibull, που περιγράφει την μεταβολή του ανέμου για τυπικές περιοχές καθώς και ο τρόπος υπολογισμού της μέσης ετήσιας ισχύος μιας ανεμογεννήτριας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία της οικονομοτεχνικής μελέτης για την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου. Γίνεται ανάλυση του συνολικού αρχικού κόστους της επένδυσης, του λειτουργικού κόστους, του εισοδήματος και του κόστους αποσβέσεως των πάγιων περιουσιακών στοιχείων. Παρουσιάζονται οι δυο μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση μιας επένδυσης: η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) και ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (EBA). Επίσης, παρουσιάζονται οι πηγές χρηματοδότησης μια επένδυσης που είναι τα ίδια κεφάλαια, η επιχορήγηση και το δάνειο και αναλύονται τα χαρακτηριστικά τους.

Στο έκτο κεφάλαιο μελετάται η αξιολόγηση της επένδυσης ενός χερσαίου αιολικού πάρκου σε τρεις διαφορετικές περιοχές στην Ελλάδα: στη Σκύρο, στο Λαύριο και στα Χανιά που παρουσιάζουν υψηλό, μεσαίο και χαμηλό αιολικό δυναμικό αντίστοιχα. Στο αιολικό πάρκο εγκαθίστανται 10 ανεμογεννήτριες τύπου General Electric GE 3.2 MW, δηλαδή η συνολική ισχύς του αιολικού πάρκου είναι 32 MW. Για κάθε περιοχή θεωρούμε ότι το συνολικό αρχικό κόστος της επένδυσης, το λειτουργικό κόστος, τα πάγια και η απόσβεση είναι κοινά. Οι διαφορές έγκειται στο εισόδημα καθώς η παραγωγή ενέργειας δεν είναι ίδια για όλες τις εξεταζόμενες περιοχές λόγω διαφορετικών ανεμολογικών συνθηκών. Επίσης, το χρηματοδοτικό σχήμα διαφέρει, γιατί το ποσοστό επιδότησης δεν είναι ίδιο για τις τρεις περιοχές. Για κάθε περιοχή παρουσιάζεται η συνάρτηση Weibull και η χρηματοοικονομική απόδοση της επένδυσης. Επίσης υπολογίζεται η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) και ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (EBA) για κάθε περιοχή και γίνεται αξιολόγηση των επενδύσεων.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται η σύγκριση των επενδυτικών σχεδίων και παρουσιάζεται η πιο αποδοτική επένδυση. Η επένδυση στη Σκύρο είναι η πιο αποδοτική καθώς έχει την υψηλότερη Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) και τον υψηλότερο Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης (EBA). Στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται μια περίληψη των συμπερασμάτων και παρουσιάζονται κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2018 16

Technical and Financial Investigation of Optimum Wind Park Siting
Evelyn Sakka

Supervisor: Professor Charis Gantes

July 2018

ABSTRACT

The present diploma thesis deals with the economical and technical exploration of optimal siting for the construction of a wind farm. The wind potential of an area is an important factor on the investment return. The construction of a wind farm has a high initial investment cost and it should be constructed in an area with high wind potential and thus have a profitable investment.

The first chapter is an introduction to the forms of renewable energy sources and their advantages and disadvantages. The wind energy, which is the form of renewable energy sources examined in this study as well as the process of the construction of a wind farm are described.

The second chapter presents the evolution of wind energy investments both at global and European level. In addition, the role of wind energy in Greece, the wind farm lending process and the energy pricing in Greece are analyzed.

In the third chapter the categories of wind turbines and the elements consisting of a horizontal axis wind turbine are presented. Moreover, the features of the General Electric GE 3.2-130 wind turbine, which is the wind turbine used in this study are described.

The fourth chapter analyzes the wind potential and wind turbine performance. The wind speed characteristics are presented as it plays an important role in the energy production and it is a factor taken

into consideration in choosing an area for the installation of a wind farm. The Weibull distribution function, which describes the wind variation for typical areas, as well as the method of calculating the average annual power of a wind turbine are presented.

In the fifth chapter the methodology of the financial study for the construction of a wind farm is presented. The total initial investment cost, operating costs, income and depreciation costs on fixed assets are described. Moreover, the two methods applied for the evaluation of the profitability of an investment are presented: The Net Present Value (NPV) and the Internal Rate of Return (IRR). In addition, the characteristics of the funding sources of an investment are presented: the public subsidy, the private equity and the private bank lending.

In the sixth chapter the evaluation of the investment of an onshore wind farm is examined in three different regions in Greece: in Skyros, Lavrio and Chania, which exhibit high, medium and low wind potential respectively. In the wind farm, 10 wind turbines of General Electrics GE 3.2 MW are installed. Thus, the total power of the wind farm is 32 MW. We consider that the total initial investment cost, operating costs, and depreciation cost on fixed assets are common for the three areas. The differences exist in income, because the energy production is not the same across the areas examined and in the funding scheme, because the rate of subsidy is not the same for the three regions. Moreover, the Weibull distribution function and the financial return of the investment of each region are presented. In addition, the Net Present Value (NPV) and the Internal Rate of Return (IRR) are calculated for each area in order to evaluate the investment decisions.

The seventh chapter compares investment decisions and presents the most profitable investment among the three areas. The investment decision in Skyros turns out to be the most profitable as it has the higher Net Present Value (NPV) and the higher Internal Rate of Return (IRR). The eighth chapter summarizes the conclusions and presents some suggestions for future research.